

工業用非破壊検査への X 線位相イメージングの利用

上原雅人

産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター

【はじめに】我が国の基幹産業である製造業において、その競争力を高めるには、品質の高いものづくりと生産の高効率化は必須であり、これらに直結する、製品の非破壊検査は重要な技術である。X 線は金属を透過できるため、内部構造の観察が可能であり、多くの非破壊検査に用いられている。従来の X 線非破壊検査では、物質の X 線に対する吸収度による像(吸収像)で行われている。一方、多くの工業製品、特に電子部品は、半導体や金属、セラミックスや高分子など、X 線吸収係数が大きく異なる物質で構成されている。硬 X 線による吸収像では金属等の評価はできるが、高分子等、X 線吸収係数の小さい物質相はコントラストが小さく、内部構造の評価は難しい。物質を透過する際に生じる位相シフトを利用する位相像は、軽元素に対して敏感であり、金属等との複合体である工業製品内の高分子相の評価に有効と考えられる。本研究では、電子部品の非破壊検査に対する X 線位相像等の有効性を探るために、放射光を用いた回折強調撮像法(Diffraction Enhanced Imaging, DEI)と、X 線管球を用いた Talbot-Lau 干渉法による位相像等の撮像実験を行った。

【実験方法】放射光による DEI 法は、九州シンクローン光研究センター(SAGA-LS)の BL07 で行った(入射 X 線: 30KeV)。また、Talbot-Lau 干渉法は、東北大学百生研究室の高感度 X 線位相撮像装置を用いて行った。このときの X 線格子の配置等は、入射 X 線の中心エネルギー 33KeV に対して最適化した。

【結果】IC パッケージについて撮像実験を行った。DEI 法、Talbot-Lau 干渉法のいずれにおいても、吸収像と位相微分像を取得できた。図に Talbot-Lau 干渉法での結果を示す。従来の X 線非破壊検査に用いられている吸収像(a)では金属細線や電極を明瞭に観察できた。一方、位相微分像(b)では、封止剤中に多数のボイド(80~500 μ m)が観察された。これらは吸収像では全く見ることができなかった。この他、パワーモジュールについても実験を行い、従来の吸収像では得られ難い、内部欠陥に関する情報が得られ、電子部品の非破壊検査における位相イメージングの有用性を見出すことができた。

【謝辞】Talbot-Lau 干渉法の実験は、JST 研究成果展開事業(先端計測分析技術・機器開発プログラム)「開発成果の活用・普及促進」に基づいて東北大学百生研究室で開発された高感度 X 線位相撮像装置を利用し、同実験室で実験等のご指導いただいた。また、DEI 法については SAGA-LS の隅谷和嗣先生にご指導いただいた。

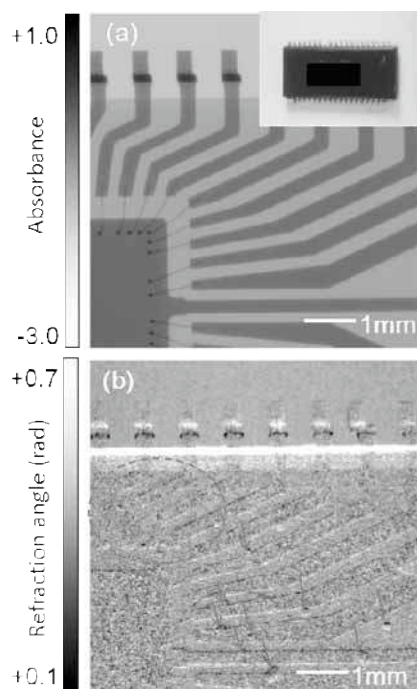


図 撮影した IC パッケージの X 線像
(a)透過像、(b)位相微分像(左はグレースケール)

AIST

工業用非破壊検査への X線位相イメージングの利用

(独)産業技術総合研究所
生産計測技術研究センター
上原雅人

2013年7月31日
産業技術総合研究所・九州シンクロトロン光研究センター合同シンポジウム

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

AIST

謝 辞

本研究の一部は、東北大学百生教授ならびに矢代航准教授、九州シンクロトロン光研究センター岡谷和嗣副主任研究員のご協力をいただいで進行了しました。ここに記して感謝申し上げます。

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

AIST

電子部品の検査についてのニーズ：
内部の金属配線やはんだはもちろん、封止剤の欠陥も評価したい。



接合部電子部品 パワーモジュールの内部構造

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

AIST

金属・高分子複合体へのアプローチ
⇒X線位相コントラスト法（軽元素に対して敏感）

例）「屈折コントラストX線CT法」による信号ケーブルの
内部立体構造の可視化
(株)日立製作所、KEK、SAGA-ILS、筑波大、日立電線
日立製作所ニュースリリース（2009年）

しかし、工場で使いたいで、放射光は避けたい
⇒X線Talbot・Lau干渉計（X線管球でも撮影可能）

東北大学百生研究室やスイスのCSEMなど・・・

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

AIST

本研究のねらい

X線は優れた透過能をもつので、軽元素に対して敏感なX線位相イメージングを用いれば、金属部材を含んだ電子部品内の高分子相の評価も可能と考えられる。本研究では、X線位相イメージングの電子部品の非破壊検査への有効性について調査する。

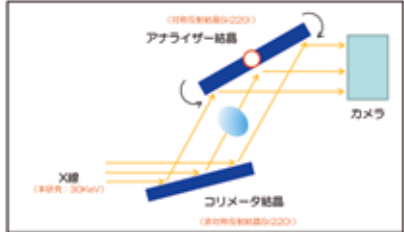
用いた撮像方法

- ・屈折コントラスト法（DE法、放射光）
- ・Talbot・Lau法（実験室X線源）

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

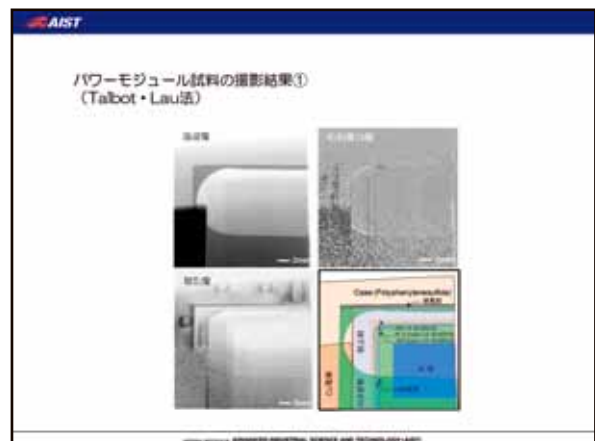
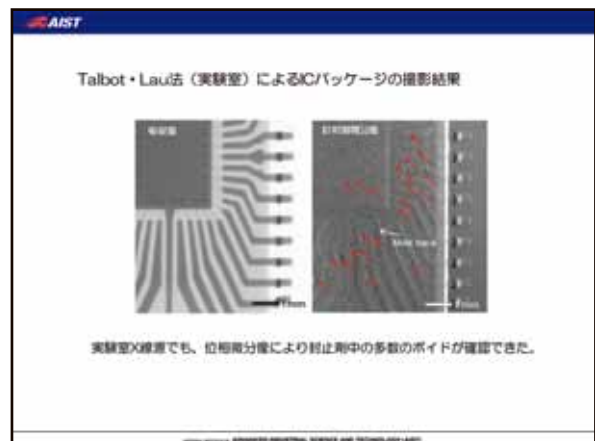
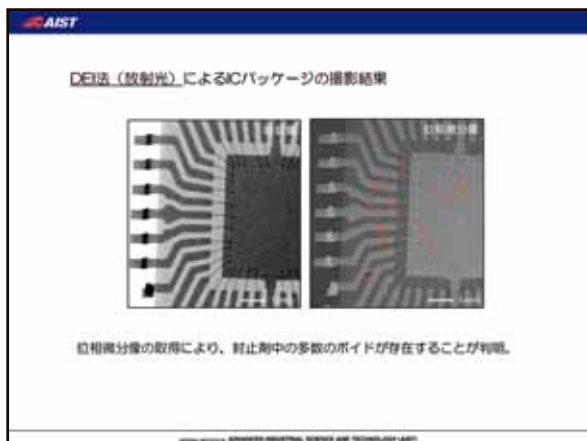
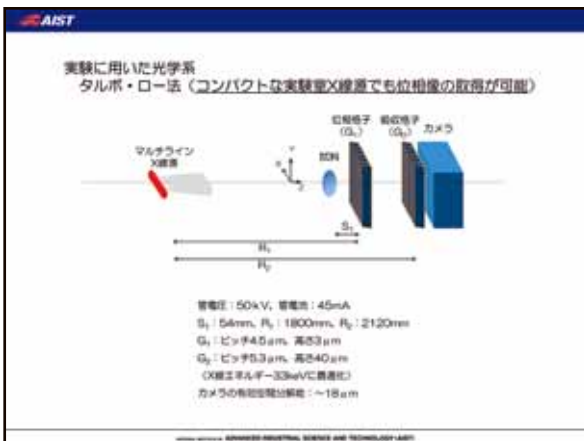
AIST

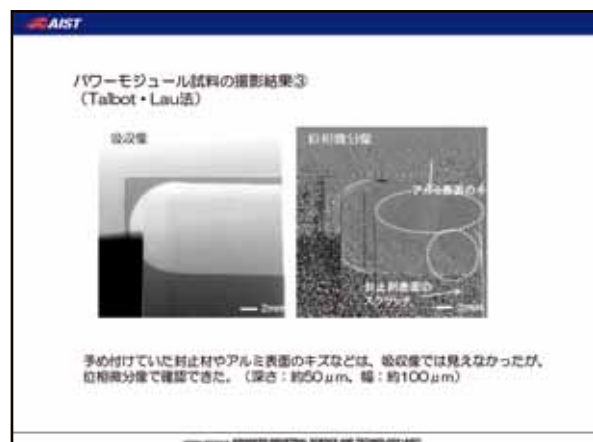
屈折コントラスト法（回折強調撮像法、DEI法）



本研究：九州シンクロトロン光研究センターBL07で測定
入射X線：30keV、有効空間分解能 $\sim 20\mu\text{m}$ 、
ロックアップ（0.2秒×20ステップ）

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

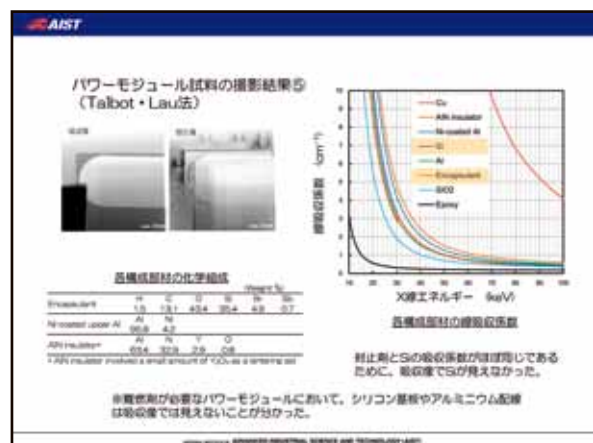




手付けしていた封止材やアルミ表面のキズなどは、吸収像では見えなかったが、位相像で確認できた。(深さ: 約50 μ m, 幅: 約100 μ m)



- 窒化アルミのクラックは吸収像では見えないが、散乱像で確認できた。
- シリコン樹脂も吸収像では見えないが、散乱像では確認できた。

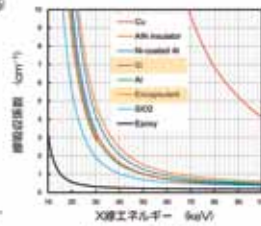


基体材料の化学組成

Element	Al	Si	Fe	Ca	Mg	Na
Weight %	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Al content (wt %)	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Al content (wt %)	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7

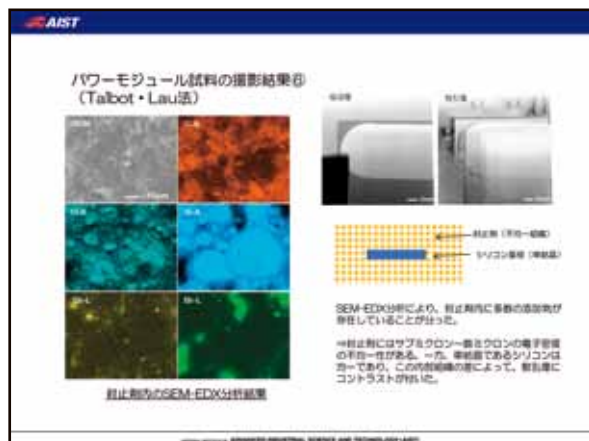
封止層の化学組成

Element	Al	Si	Fe	Ca	Mg	Na
Weight %	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Al content (wt %)	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Al content (wt %)	1.0	1.1	0.4	0.4	0.4	0.7



封止層とSiの吸収係数がほぼ同じであるため、吸収像でSiが見えなかった。

※観察が必要パワーモジュールにおいて、シリコン基板やアルミニウム配線は吸収像では見えないことが分かった。



封止層のSEM-EDX分析結果



SEM-EDX分析により、封止層内に多数のシリコンが存在していることが分かった。

→封止層にはサブミクロンオーダーの電子線照射の特性がある。一方、半導体であるシリコンは、この特性によって、散乱像にコントラストが得られた。



- 吸収像でもシリコン基板や、窒化アルミ絶縁層のクラックは確認できた。
- アルミニウムや封止層のキズが、位相像において明確に見えた。

言い方を直すと・・・

Talbot・Lau法を用いることで、通常の放射光X線でも、放射光撮影に近づけるかも・・・

まとめ

・X線位相イメージングを用いて、電子部品の内部構造の評価を行った結果、封止剤中のボイドや表面キズなど、吸収法では得ることのできない欠陥を観察することができた。

・封止剤に囲まれたシリコンや、セラミックス(Ai)内のクラックは、実験室X線源での吸収法（通常のX線非破壊検査）では、全く見えなかったが、実験室X線源でのTalbot・Lau法でそれらを観察することができた。

⇒X線位相イメージングは電子部品の非破壊検査として有効な方法であり、実験室X線源でも撮影可能なTalbot・Lau法は現場での利用が期待できる。